บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติของสนามไฟฟ้า และแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากสนามไฟฟ้า ตั้งแต่ระดับอนุภาคเดี่ยวภายใต้สนามไฟฟ้าภายนอก ระดับอนุภาคเดี่ยวภายในระบบอิเล็กโตรดที่มีชั้นผิวฉนวน ไปจนถึง ระดับกลุ่มอนุภาคภายใต้สนามไฟฟ้าภายนอก. ผลการศึกษามีดังต่อไปนี้

- โครงการนี้ได้พัฒนาวิธีคำนวณสนามไฟฟ้าในระบบสองมิติ โดยใช้หลักการของเงามัลติโพลในการทำให้เงื่อนไขขอบเขตที่เกี่ยวข้องเป็นจริง และได้นำเสนอสมการเงามัลติโพลสำหรับวัตถุตัวนำหรือฉนวนที่มีขอบเขตเป็นทรงกระบอกหรือเป็นระนาบ. การคำนวณใช้การกระจายมัลติโพลใหม่ 3 ชนิด ซึ่งทำให้สามารถใช้กระบวนการวางเงามัลติโพลได้. ข้อดีของวิธีนี้เหนือวิธีเงาประจุทั่วไปก็คือวิธีที่นำเสนอนี้สามารถใช้ได้การรูปแบบที่ซับซ้อน มีวัตถุมากกว่าสองตัวในระบบได้. นอกจากนี้ วิธีคำนวณนี้ สามารถประยุกต์ใช้ประมาณสนามไฟฟ้าและแรง ในกรณีของอนุภาคที่มีลักษณะแหลมยาวได้.
- การศึกษาในระดับอนุภาคเดี่ยว ได้พิจารณากรณีของทรงกลมตัดกัน และกรณีของอนุภาคทรงคล้ายทรงกลมแป้นข้างหรือแป้นขั้ว. สำหรับอนุภาครูปทรงกลมตัดกัน ผู้วิจัยได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีเงามัลติโพลในการคำนวณสนามไฟฟ้า. วิธีที่นำเสนอนี้สามารถใช้ได้กับกรณีของอนุภาคตัวนำที่ต่อลงดิน หรือไม่ต่อลงดิน หรือได้รับการป้อนศักย์ไฟฟ้าคงที่ค่าหนึ่งได้. ผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างการคำนวณสำหรับตัวนำทรงกลมตัดกันที่ต่อลงดิน ทั้งในกรณีที่ตัวนำทรงกลมมีรัศมีเท่ากัน และกรณีที่มีรัศมีต่างกัน. ผลการคำนวณสอดคล้องกับขีดจำกัดเมื่อทรงกลมทั้งสองซ้อนทับกันพอดี. สำหรับกรณีของทรงกลมรัศมีต่างกัน ผลการคำนวณเชิงตัวเลขแสดงว่า วิธีนี้สามารถใช้ได้เมื่อระดับของมุมตัดไม่สูงเกินไป.
- การศึกษาอนุภาคทรงคล้ายทรงกลมแบบมีชั้นผิวฉนวน ได้วิเคราะห์แรงดันที่ตกคร่อมชั้นผิวฉนวนและตัวประกอบโพลาไรเซชัน โดยใช้โมเดลแม่นยำแบบที่ชั้นผิวฉนวนมีความหนาคงที่. วิธีวิเคราะห์มีพื้นฐานจากการกระจายฮาร์มอนิกส์ในระบบพิกัดทรงคล้ายทรงกลม และหาคำตอบโดยพิจารณาปฏิกิริยาระหว่างแต่ละองค์ประกอบฮาร์มอนิกส์. ผลการศึกษาทำให้เข้าใจความแตกต่างของแรงดันที่ตกคร่อมชั้นผิวฉนวนและตัวประกอบโพลาไรเซชันที่ได้จากการใช้โมเดลแม่นยำ เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้เมื่อใช้โมเดลประมาณที่มีความหนาของชั้นฉนวนไม่คงที่.
- ในการศึกษาสนามไฟฟ้าและแรงบนอนุภาคในระบบอิเล็กโตรดแบบที่มีชั้นผิวฉนวน เมื่อชั้นฉนวนมีความหนากึ่งอนันต์ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีเงาประจุในการคำนวณสนามไฟฟ้า โดยวางอนุกรมอนันต์ของเงาประจุและเงาไดโพล. สนามไฟฟ้ามีค่าสูงสุด ณ จุดสัมผัสระหว่างอนุภาคกับชั้นฉนวน. ทั้งสนามไฟฟ้า ณ จุดสัมผัส และแรงที่ทำกับอนุภาคเพิ่มขึ้นตามสภาพยอมของของแข็ง. แรงที่ได้ดึงให้อนุภาคทรงกลมอยู่ติดกับชั้นฉนวนแข็ง. ผลการศึกษาทำให้ได้สมการง่ายๆ สำหรับประมาณสนามไฟฟ้า ณ จุดสัมผัส และแรงที่ทำกับอนุภาค โดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 3% เมื่อฉนวนแข็งมีสภาพยอมไม่เกิน 32 และ 64 เท่าของสภาพยอมของตัวกลางที่อยู่ล้อมรอบ ตามลำดับ.
- ในการจัดเรียงของอนุภาคและตัวนำระนาบที่มีชั้นผิวฉนวนความหนาจำกัด สนามไฟฟ้าถูกคำนวณโดยใช้วิธีเงามัลติโพล โดยมีกระบวนการคำนวณแบบทำซ้ำที่ถูกนำเสนอขึ้นโดยเฉพาะ. ผลการคำนวณแสดงว่าสนามไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ไม่มีชั้นผิวฉนวน. อย่างไรก็ตาม ถ้าอนุภาคอยู่ห่างจากผิวฉนวนประมาณระยะเท่ากับรัศมีของอนุภาค ผลของชั้นผิวฉนวนก็สามารถละเลยได้. ภายในชั้นผิวฉนวน สนามไฟฟ้าบนแกนสมมาตรจะมีความสม่ำเสมอมากขึ้น และสนามไฟฟ้าเฉลี่ยจะ

สูงขึ้น เมื่อความหนาของชั้นผิวฉนวนลดลง. สำหรับกรณีที่ชั้นผิวฉนวนมีความบางเพียงพอ ผู้วิจัยได้พบว่า เราสามารถประมาณค่าสนามไฟฟ้า ณ จุดสัมผัส และแรงบนอนุภาคตัวนำได้ เป็นฟังก์ชันกำลังของอัตราส่วนสภาพยอมของชั้นฉนวนแข็งต่อสภาพยอมของตัวกลางที่อยู่ล้อมรอบ.

- การศึกษาพฤติกรรมของระบบอนุภาคทำกับระบบของไหลอีอาร์ โดยใช้โมเดลแบบมัลติโพล ซึ่งรวมปฏิกิริยาอันดับที่สูงกว่าโมเดลแบบไดโพลที่ใช้กันอยู่ทั่วไป. โมเดลแบบมัลติโพลใช้หลักการกระจายมัลติโพล และวิธีเงาประจุในการคำนวณสนามไฟฟ้าและแรงบนอนุภาค. ผู้วิจัยได้เลือกอันดับของมัลติโพล และจำนวนรอบในการทำซ้ำที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ค่าแรงที่แม่นยำสูงขึ้น โดยที่ไม่ใช้เวลาในการคำนวณนานเกินไป. การศึกษาในกรณีของอนุภาคสองตัวแสดงว่า แรงที่ได้เพิ่มขึ้นอย่างไม่เป็นเชิงเส้นกับอันดับของมัลติโพลและจำนวนรอบการทำซ้ำที่ใช้. จากนั้น ได้ทำการจำลองการเคลื่อนที่ของอนุภาคจำนวน 20 และ 67 อนุภาค และเปรียบเทียบผลการจำลองที่ได้ กับผลที่ได้เมื่อใช้โมเดลแบบไดโพล. ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างอย่างมาก เมื่อปรับปรุงการจำลองด้วยการใช้โมเดลมัลติโพล.

Abstract

This research has studied the characteristics of electric field and force induced by the field for (1) a single particle under an applied electric field, (2) an isolated particle in a system of dielectric barrier, and (3) a system of particles under an external field. Results of the studies may be summarized as follows:

- We have presented the method of images for calculating electric field in two-dimensional arrangements. The method utilizes multipoles as the images to satisfy boundary conditions. The images are given for planar or cylindrical boundaries between two dielectrics and for those between a dielectric and a conductor. We introduce the use of three kinds of multipole re-expansions, which enables the calculation of images in complicated arrangements. The method has a clear advantage over using only line charges or line dipoles when the arrangement under consideration consists of more than two objects. In addition, the proposed method is also applicable to the estimation of the electric field and force on a very long particle.
- For the level of a single particle, the research is focused on (1) intersecting spherical particle and (2) spheroid particle. In arrangements of intersecting conducting spheres, the application of the method of images to the calculation of electric field is presented. The method is applicable for cases of electrically floating, grounded, or energized conducting spheres that intersect each other. Examples are given for two grounded intersecting spheres of equal radii and those of different radii, respectively, under an external uniform field. The results for the spheres of equal radii agree well with the analytical solutions for the case of completely overlapped spheres and touching spheres, respectively. For the spheres of different radii, the numerical results show that the method may also be used when the degree of intersection is not too high.
- For an isolated spheroidal particle with insulating membrane, we have analyzed the membrane voltage and the polarization factor using a precise model, by which the membrane has a uniform thickness. The analytical method is based on the harmonic expansion of the field, to include the condition of the uniform membrane thickness as a series expansion of the geometrical factor, and to solve the field problem as an interaction of the harmonic components. The results clarified the effects of the applied model on the membrane voltage and the polarization factor of the particle.
- For an arrangement of a conducting sphere lying on a dielectric solid under a uniform field, we have applied the analytical method of successively placing three infinite sequences of point and dipole charges (zero- or first-order multipoles). The electric field is highest at the contact point. Both the contact-point field and the force increase with the permittivity ratio of the solid to that of the surrounding medium. The resulting force always attracts the sphere to the solid. We have given very simple formulae for approximating the contact-

point field and the force which agree with the precise values within a difference of 3% for permittivity ratios up to 32 and 64, respectively.

- In an arrangement consisting of an uncharged conducting sphere and a plane electrode with a dielectric barrier, the electric field is calculated by using the method of multipole images using an iterative algorithm proposed for calculating the images of the dielectric barrier of finite thickness. The calculation results show electric field intensification due to the presence of the dielectric barrier having higher permittivity than that of the surrounding medium; however, if the barrier is separated from the conducting sphere by at least the sphere radius, its influence is negligible. Inside the dielectric barrier, the electric field on the axis of symmetry becomes more uniform and the average field significantly increases with decreasing its thickness. For a case where dielectric barrier is sufficiently thin, the electric field at the contact point and the force on the conducting sphere vary approximately as power functions of the permittivity ratio.
- Studies on the system of particles have been done for an electrorheological (ER) fluid system by using a multipole model that includes multipolar interactions between particles. The model uses the multipole re-expansion and the method of images for calculating electric field and force. The highest order of multipoles and the number of iterations used in the method of images can be chosen for the accuracy of the force approximation and the simulation time required. Study of a two-particle configuration shows that the force does not increase linearly with increasing the order of multipoles and the number of iterations. We have performed the simulation of a system of 20 and 67 particles, and compared the formulation of particle chains with that obtained using the dipole model. The results indicate significant difference when the multipole model is used in simulation.